

LES VERTISOLS DES ILES CANARIES OCCIDENTALES. ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE, MINERALOGIQUE ET MICROMORHOLOGIQUE

C. M. RODRIGUEZ HERNANDEZ
E. FERNANDEZ-CALDAS
N. FEDOROFF
P. QUANTIN

Des vertisols ont été décrits la première fois à l'île de Tenerife par Fernandez Caldas & Guerra Delgado (1971), puis ils ont été observés à l'île de La Palma (Bravo Rodriguez *et al.*, 1974), et à l'île de La Gomera (Fernandez Caldas *et al.*, 1974). Dans les autres îles, les vertisols n'existent pas ou sont rares (Gran Canaria), soit que l'érosion ait été trop violente, soit qu'ils ont été recarbonatés jusqu'à la surface (Lanzarote, d'après Quantin, 1975).

Rodriguez Hernandez (1976) a étudié les vertisols et les sols apparentés des îles Canaries à l'occasion d'une thèse. Nous présentons ici l'essentiel de ce travail sur les vertisols typiques des îles Canaries occidentales.

C. M. Rodriguez Hernandez & E. Fernandez-Caldas - Laboratorio de Edafologia, Facultad de Ciencias, Universidad de La Laguna, Tenerife, Espagne.

N. Fedoroff - Institut National Agronomique Paris-Grignon, 78850-Grignon, France.

P. Quantin - O. R. S. T. O. M., Section de Pédologie, Route d'Aulnay, 93140-Bondy, France.

Et avec la collaboration de :

- C. Rodriguez Pascual (C. S. I. C., Madrid), J. Galvan (C. S. I. C., Madrid) pour la minéralogie des argiles (Rx, IR, et microscopie électronique);
- P. Guillore (I. N. A. Paris-Grignon) pour la fabrication des lames minces;
- C. Roca Perez pour la minéralogie de la fraction sableuse.

Et nous tenons à remercier l'Ambassade de France à Madrid et la Coopération Scientifique et Technique française grâce à qui Mr. Fedoroff a pu se rendre aux Canaries, et Melle Rodriguez Hernandez venir à Grignon interpréter les lames minces.

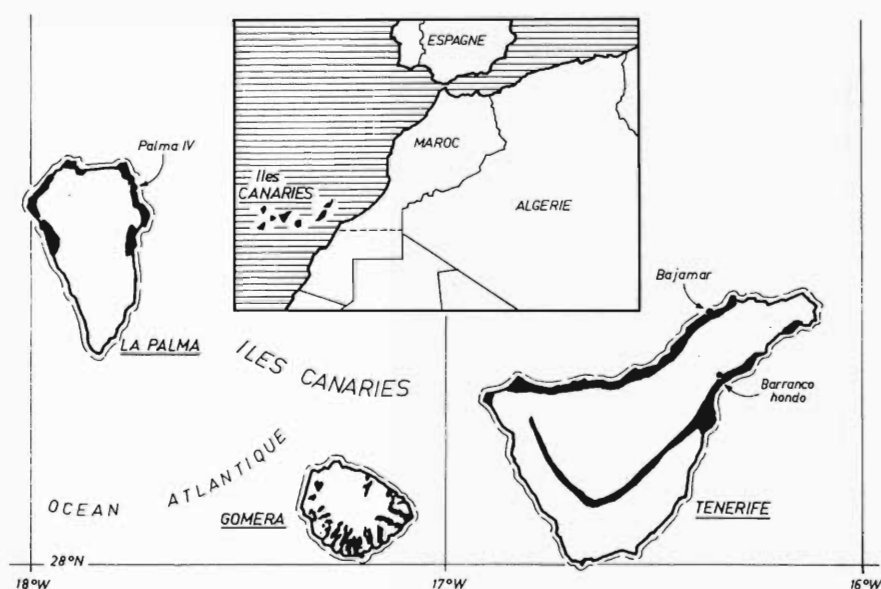


Fig. 1.

Les vertisols des îles Canaries occidentales.

11 - Localisation des îles Canaries

12 - Distribution des vertisols dans les îles Canaries occidentales et localisation des profils types. Les aplats noirs correspondent aux vertisols

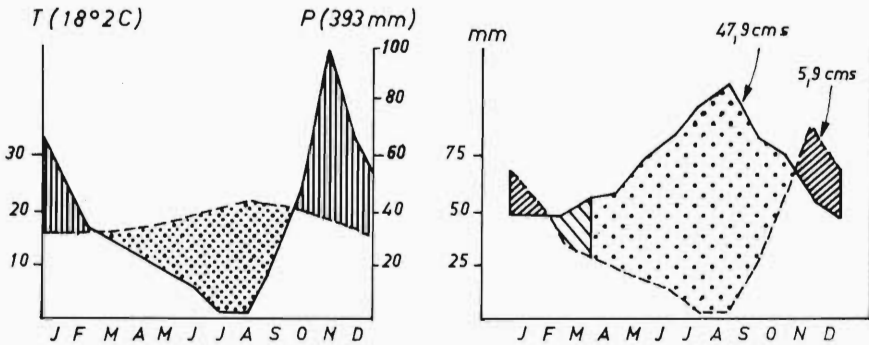
1. ENVIRONNEMENT DES VERTISOLS CANARIENS

Dans les îles Canaries occidentales, les vertisols se rencontrent (fig. 1) :

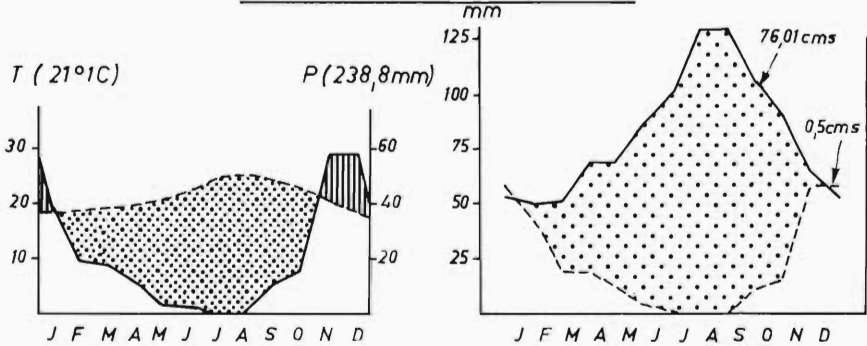
- d'une part, sur le versant humide (façade nord) jusqu'à 300 m d'altitude à Tenerife, et 600 m à Gomera; au-dessus, ils passent progressivement à des sols fersiallitiques;
- d'autre part, sur le versant sec (façade Sud et Sud-Est) le long d'une bande dont l'altitude est comprise entre 1 000 m et 1 200 m; plus bas, ils passent à des sols arides, souvent développés aux dépens de vertisols par carbonatation.

Le matériau originel de ces vertisols est toujours d'origine volcanique. Les matériaux basiques, de type basalte sont dominants, mais des matériaux plus acides allant jusqu'aux trachytes peuvent se rencontrer. Ces matériaux se présentent sous différentes formes : coulées, lapillis et cendres. Mais les vertisols canariens ne sont jamais formés en totalité à partir d'un matériau originel unique; ils sont toujours en partie ou en totalité développés dans des colluvions; seule la racine de quelques vertisols étudiés est autochtone (profils de Barranco Hondo

ICOD



SANTA CRUZ DE TENERIFE



α

β

Légende de la fig. 2

α - diagramme de Gausson

β - diagramme de Thornthwaite.

Déficit hydrique

Réserves en eau

Utilisation des réserves en eau

Formule climatique de Thornwaite

Formule d'évapo-transpiration potentielle de Thornwaite

Fig. 2.

Données climatiques.

Icod : station caractérisant la zone des vertisols sans encroûtement calcaire.

Santa Cruz de Tenerife : station caractérisant la zone des vertisols fortement encroûtés.

et de Palma IV). Le colluvionnement le plus intense s'observe toujours au sommet des profils, il résulte de la mise en culture des sols.

En effet, les vertisols canariens sont situés dans des zones où l'érosion et le colluvionnement ont été et sont intenses. On les rencontre soit sur :

- des pentes prononcées, jusqu'à 30 %, (profil de Barranco Hondo), mais présentant localement des replats, entre la zone cotière et les massifs,
- des glacis de la zone cotière, eux-même en pente assez forte (de l'ordre de 10 %) (profil de Bajamar).

Dans des colluvions sur lesquels sont développés les vertisols, on observe fréquemment, soit entre deux couches de colluvions, soit entre les colluvions et le matériau volcanique, des circulations hypodermiques d'eaux fortement chargées en sels.

Ces vertisols canariens sont donc situés dans des positions topographiques différentes de celles habituellement décrites où en effet, ils sont surtout développés dans des zones basses : plaines alluviales, voire zones endoreiques ou des zones faiblement ondulées, où les pentes ne dépassent pas 15 %.

Le climat de la zone à vertisols des îles canaries est semi-aride mésothermique (Huetz de Lemp, 1963). En utilisant la formule de Thornthwaite pour calculer l'E.T.P., on constate que leurs réserves en eau sont épuisées dès avril et qu'elles ne sont réalimentées qu'en novembre (fig. 2). La végétation de cette zone est de type subtropical semi-aride, caractérisée par des associations xérophytes à arbustes et buissons, à dominante d'euphorbiacées (Ceballos Orduno, 1951). Ces zones ont été mises en culture intensive et la végétation naturelle ne s'est conservée que dans des zones peu accessibles : les pentes des ravins.

2. LES CARACTERES DES VERTISOLS CANARIENS

Les vertisols canariens sont relativement homogènes. Pour les caractériser à la fois dans leur généralité et leurs variations, parmi les profils étudiés, nous en avons retenu trois : *Bajamar*, *Barranco Hondo*, et *Palma IV*.

2.1. LES CARACTERES MACROMORPHOLOGIQUES GENERAUX

A la différence de beaucoup d'autres vertisols, les vertisols canariens ne sont pas inclus dans des toposéquences (Bocquier 1973, Lopez-Taborda, 1967). Ils font seulement partie de la séquence pédoclimatique des Îles Canaries (Quantin P. & Tejedor M., 1976).

Ils sont caractérisés par :

- l'absence de microrelief gilgai et d'effondrements;
- des fentes de dessiccation de plusieurs centimètres de large qui ne se ferment que lors d'hivers particulièrement pluvieux, comme celui de 1975-1976;
- une structure polyédrique à tendance granulaire dans les horizons A;
- une structure prismatique grossière, très développée, dans les horizons (B);
- des agrégats dans les horizons (B), très denses, à microporosité faible, à forte cohésion, souvent gauchis;
- des slickensides surtout développés à la base des horizons (B).

2.2. LES CARACTERES MACROMORPHOLOGIQUES VARIABLES (*)

Leur épaisseur est variable; ils sont souvent discontinus. Les horizons A sont, en général, peu épais; mais leur épaisseur est souvent accrue artificiellement par la culture. L'épaisseur de l'horizon (B) est de l'ordre de 50 à 60 cm, mais elle peut dépasser le mètre (Palma IV).

Leur couleur est toujours foncée, mais la teinte est variable, de 10YR (Bajamar) à 5YR (Palma IV). Au niveau inférieur, nous avons subdivisé les vertisols canariens d'après leur teinte.

Les sesquioxides sous forme concrétionnées sont en général absents. Le profil de Palma IV où ils sont présents dès le sommet est exceptionnel, mais ce profil est plus profond que la moyenne, son drainage externe est assez faible et de plus, il se trouve dans une région plus humide qu'ailleurs.

Dans les régions les plus humides, les carbonates sont soit presque absents, (Barranco Hondo) soit à l'état de pseudo-mycélium diffus à la base des horizons (B) (Palma IV). Dès que le climat devient trop sec, ils tendent à former une croûte friable, quasi-continue à la base des horizons (B) (Bajamar). Progressivement en relation avec l'aridification du climat, cette croûte envahit le (B) et peut atteindre la surface du sol. Mais dès que cette croûte a envahi la majeure partie du (B) le sol perd son caractère vertique.

La pierrosité de ces vertisols est également variable. Elle est importante dans les horizons A et le sommet des (B) de presque tous les profils, décroissant rapidement dans l'horizon (B).

La plupart des fragments, en général basaltiques, présents dans les horizons A et (B) ne sont pas altérés ou le sont très légèrement. Mais des fragments moyennement altérés (se coupant au couteau) peuvent être observés dans les horizons (B) principalement vers leur base. Le

(*) Le tableau 1 résume les caractères variables des profils de référence.

Tableau 1

Situation et caractères macromorphologiques variables

<i>Bajamar</i> (Façade N-E de Ténérife) coupe le long de la route du Club de Bajamar, à 100 m de la mer, altitude 50 m, pente 20%, sur une coulée basaltique, sol cultivé.		Couleur Munsell sèche	Sesquioxides	Calcaire secondaire	Pierrosité	Degré d'altération des éléments grossiers et du substratum
Ap	0 - 8	10 YR 5/2	Néant	Néant	Fragments basaltiques nombreux	Non altérés
(B)	8 - 50	10 YR 5/2	Néant	Nodules calcaires devenant de plus en plus abondants avec la profondeur.	Fragments basaltiques devenant de moins en moins nombreux avec la profondeur	- idem -
II(B)Ca	50 - 90		Néant	Croûte calcaire blanche friable isolant des îlots de matériel vertique non calcaire.	Absence de fragment	
<i>Barranco Hondo</i> (Façade S-E de Tenerife) sur la pente du Barranco Hondo, à 480 m d'altitude, pente de 40% passage progressif à des lapillis, orientation Sud, terrasse abandonnée						
Ap	0 - 10	7,5 YR 4/2	Néant	Néant	Fragments basaltiques nombreux	La plupart ne présentent pas d'altération notable.
(B)	10 - 50	7,5 YR 3/2	Néant	Néant	Le nombre de fragments basaltiques diminue avec la profondeur	- idem -
(B)C	50 - 70	5 YR 4/8	Néant	Néant	Néant	Transition progressive entre le matériel vertique et les lapillis fortement altérés.
C	70 ...			Accumulation calcaire friable peu abondante B(C) et C.		

<i>Palma IV</i> (Façade N-E de la Palma) entre les villages de Pantallana et Saucés, à 170 m d'altitude, zone légèrement ondulée, sur des scories basaltiques, pente de 12%, sol cultivé						
Ap	0 - 20	5 YR 3/3	—	Néant	Fragments basaltiques, les uns arrondis, les autres argileux nombreux	Certains sont non altérés, d'autres le sont légèrement.
(B)1	20 - 62	5 YR 3/4	Quelques petites concrétions fer rugineuses foncées.	Néant	Fragments de basalte	
(B)2	62 - 150	7,5 YR 4/2	- idem -	Accumulations calcaires généralisées, peu abondantes, en forme de pseudo-mycélium à la base de (B)2	Quelques fragments de de basaltes	Moyennement à légèrement altérés.
C	150 ...	—	—	—	—	altération pelliculaire de la coulée basaltique

basalte du substratum est au plus altéré sous forme pelliculaire (Palma IV), mais des cendres ou des lapillis peuvent l'être dans la masse (Barranco Hondo).

2.3. LES CARACTERES PHYSIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES (tableau 2)

La teneur en argiles des vertisols canariens est toujours élevée, oscillant entre 60 et 70 %. Elle est sensiblement plus élevée que la valeur générale donnée par Dudal (1967) : 40 à 60 % d'argile. Ils sont plus riches en argiles que les vertisols d'Andalousie (Olmedo Pujol & Perez, 1975), mais leur teneur en argile est comparable à celle observée par Blokhuis, Slager & Van Schlagen, 1970 dans les vertisols du Soudan.

La fraction limoneuse tend à augmenter sensiblement vers la surface; c'est surtout remarquable pour le profil de Bajamar.

La fraction sableuse ne dépasse guère 10 %. On note une légère augmentation de la fraction sableuse à la base des horizons (B).

Les valeurs de pH sont en relation étroite avec les teneurs en carbonates et le taux de saturation par le calcium du complexe absorbant. Si le sol est fortement carbonaté (Bajamar), le pH H_2O dépasse 8 dès l'horizon de surface. Au contraire, si le profil n'est pas calcaire et sensiblement désaturé comme celui de Barranco Hondo, le pH H_2O ne dépasse guère 6. Dans les profils, on note une augmentation avec la profondeur, celle-ci est plus marquée dans les vertisols non calcaires.

Pour les carbonates, l'analyse confirme les observations de terrain.

La capacité d'échange ramenée à 100 g d'argiles varie de 60 m.é. (Bajamar) à 80 m.é. (Barranco Hondo). Cette variation est en relation avec la composition minéralogique, en effet la montmorillonite est plus abondante à Barranco Hondo qu'à Bajamar. Par ailleurs, quand la teneur en carbonates augmente, la capacité d'échange diminue; une exception à cette règle : le profil de Bajamar; en effet, dans ce profil, la capacité d'échange augmente en même temps que les carbonates; en réalité cette augmentation correspond à une forte croissance de la teneur en montmorillonite. Les valeurs de la capacité d'échange des vertisols canariens sont moyennes à fortes par rapport à celles données par Dudal, 1967 et les autres auteurs.

Dans la plupart des vertisols canariens, le complexe absorbant est saturé; les profils partiellement désaturés comme celui de Barranco Hondo sont relativement rares. Le cation majeur est le calcium, mais il dépasse rarement 50 % de la capacité d'échange, même si le complexe est saturé. Le magnésium sature dans une assez forte proportion le complexe de ces vertisols, de 30 à 45 %; son taux augmente sensiblement avec la profondeur; ainsi à Bajamar, il passe de 30 % à 45 %. La

Tableau 2

Caractéristiques physiques et physico-chimiques

	Profon- deur en cm	Granulométrie				pH		CO ₃ Ca	C	Complexe absorbant							
		Argile <2μ	Limon 2-20μ	Sable fin 20- 200μ	Sable gros- sier 200- 2mm	H ₂ O	ClK	%	%	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ^t	T	S/T	Na/T en %	
										en méq. pour 100 g. de terre							
<i>BAJAMAR</i>																	
Ap	0- 8	61,2	33,6	2,5	3,4	8,8	7,3	1,06	0,48	26,60	10,90	3,06	0,69	37,40	—	8,1	
(B)	8- 50	64,7	32,4	2,3	2,6	8,1	7,3	1,24	0,48	28,70	12,10	4,10	0,59	41,50	—	9,8	
II(B)Ca	50- 90	62,2	18,5	6,2	14,3	8,6	7,6	34,25	0,19	—	19,00	5,40	0,29	41,60	—	12,9	
<i>BARRANCO HONDO</i>																	
Ap	0- 10	62,0	27,5	5,0	5,5	6,2	5,0	0,20	1,19	20,60	18,00	1,40	1,00	56,90	72,05	2,4	
(B)	10- 50	73,0	17,0	4,2	4,8	7,4	6,4	0,29	0,66	52,27	20,00	4,10	0,30	60,07	82,68	6,8	
(B)C	50- 70	51,0	36,0	6,0	7,0	7,8	6,7	0,39	0,29	29,00	23,80	6,30	0,30	67,68	87,76	9,3	
<i>PALMA IV</i>																	
Ap	0- 20	59,5	29,0	5,0	5,5	7,5	6,1	0,00	0,66	22,20	19,40	2,20	0,59	45,00	98,60	4,8	
(B)1	20- 62	65,0	23,5	6,0	5,5	8,2	7,1	0,29	0,23	25,20	19,50	6,00	0,49	49,00	—	12,2	
(B)2	62-150	68,0	21,0	5,0	6,0	8,0	6,9	0,29	0,23	22,10	21,80	5,30	0,59	50,00	99,50	11,0	

saturation par le sodium est assez élevée, augmentant régulièrement avec la profondeur; il sature fréquemment à plus de 10 % le complexe absorbant des horizons (B).

Les taux de magnésium et de sodium sont particulièrement élevés pour des vertisols; seul Blokhuis (1972) donne les chiffres comparables pour des vertisols développés sur des matériaux colluviaux d'origine basaltique.

Le taux de matière organique est toujours assez faible; il est moyen pour des vertisols.

2.4. LES CARACTERES MICROMORPHOLOGIQUES (tableau 3)

2.4.1. L'agrégation et la porosité

Au sommet des horizons A, il se différencie des agrégats circulaires de la taille des sables moyens à grossiers, émoussés, toujours librement entassés. Leur couleur est foncée.

Rapidement avec la profondeur, la taille de ces agrégats augmente tandis que leur couleur s'éclaircit, mais ils conservent assez longtemps une forme émoussée à sub-émoussée. Leur entassement tend progressivement à augmenter; ils finissent par former un milieu continu découpé en agrégats polygonaux.

La forme des agrégats circulaires dans les sols fortement colluvionnés est variable.

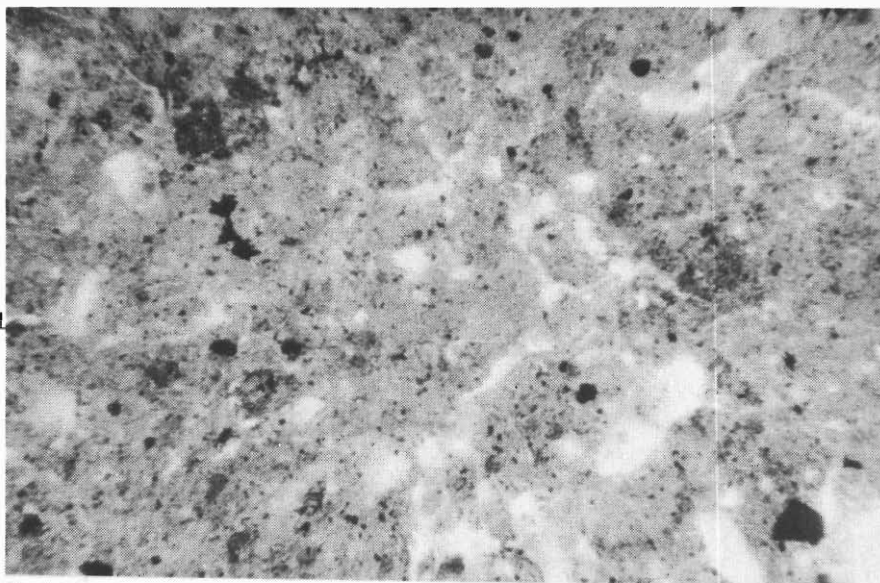
Dans les horizons (B), les agrégats sont de forme polygonale, irrégulière et variable; leur taille, avec la profondeur, passant du millimètre au centimètre. La porosité dans ces horizons, comprise entre 10 et 20 % (sur échantillons secs) résulte d'un réseau toujours désordonné, de larges fissures (passant à des fentes) qui s'ouvrent de place en place en cavités. Certaines de ces cavités contiennent des entassements d'agrégats circulaires.

2.4.2. Le squelette

Dans la masse du sol, le squelette est peu abondant; il ne dépasse jamais 20 % de la surface observée. Les éléments les plus grossiers peuvent être indépendants du plasma, mais le plus fréquemment, les grains et le plasma sont en relation porphyrique. Le squelette est constitué de fragments de basalte et de phénocristaux entiers ou fragmentés, et on observe aussi du quartz fin.

Les fragments de basalte sont présents partout; ils disparaissent seulement dans les horizons C des vertisols développés sur des roches ne contenant pas de basalte. Ils sont dans les fractions sables moyens et

1.1



1.2

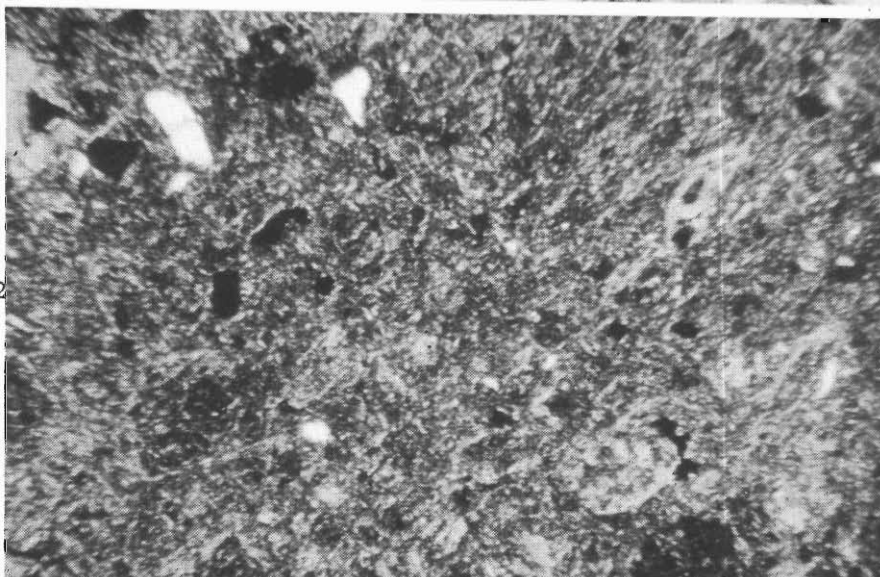


Photo 1.1

Fond matriciel verticale. Horizon (B) du profil de Barranco Hondo (X 55). Lumière naturelle, Plasma brun jaune, moyennement poussiéreux. Des vides polyconcaves indiquent que ce fond matriciel résulte d'un entassement très dense d'agrégats circulaires. Des ferruginisations brunes (gris foncé sur photo), diffuses sont présentés.

Photo 1.2

Fond matriciel verticale. Horizon (B) du profil de Barranco Hondo (X 55). Lumière polarisée. Assemblage plasmique latti-squel-mosépique.

Tableau 3
Micromorphologie

Hori- zon	Profon- deur en cm	Squelette				Plasma	Distribu- tion relative au sque- lette et au plasma	Accumula- tions textu- rales-Types et pour cha- que type %	Cristalli- sations carbona- tées,Type et pour chaque type %	Ferrugini- sations- Type et pour types %	Types de poro- sité et % de vides	Types d'agrégation
		% d'élé- ments gros- siers	Granulomé- trie de la frac- tion gros- sière	Degré de triage	Degré de Fragmen- tation de la Sanidine	Types et pour chaque type %						
BAJAMAR.-												
Ap	0- 8	10	l(feldpaths et quartz)	0	3	[PBP ⁺⁺⁺ 60%	Porphyrique	0	0	IFB 2%	Réseau de fissures avec quel-	Agrégats polygo-
(B)	8- 50	7	Sm et Sg l et <u>Sg</u>	0	3	[PBTP ⁺⁺ 2% [PBP ⁺⁺⁺ 20% [PBTP ⁺⁺ 45%	"	A.T.nt	d.N. 5%	IFR 5% F.O. 1% -idem Ap	ques cavité 15% Réseau de fissures désordonnées 15%	Agrégats polygo-
II(B)Ca	50- 90	15	<u>Sg</u>	1	N.O.	PBJP ⁺ 30%	"	0	R.R. et N 30%	F.O. 1%	10%	naux moyens à grossiers -
BARRANCO HONDO.-												
Ap	0- 10	15	<u>l</u> , <u>sf</u> Sm, et Sg	0	3	[PBJP ⁺⁺ 40% [PBP ⁺⁺⁺ 25% [PBJP ⁺ 5%	Porphyrique	A.A.m. 1%	—	IFB 5% IFR 2% F.O. 2%	vides d'entassement et réseau incomplet de fissures 25%	Agrégats circulaires formation par entassement des agrégats polygonaux
(B)	10- 50	10	<u>l</u> , <u>sf</u> , <u>sm</u> , et <u>Sg</u>	0	3	[PBJP ⁺⁺ 45% [PBP ⁺⁺⁺ 20% [PBJP ⁺ E	"	A.A.m. <1%	—	IFB 4% IFR 4% F.O. 2%	Réseau de fissures s'ouvrant en cavités, qq vides d'entassement 15%	Agrégats polygonaux assez fins
(B)C	50- 70	5	<u>Sm</u> , et <u>Sg</u>	1	2	[PBJP ⁺ 60% [PBP ⁺⁺⁺ 10% [PJ 2%	"	A.A.m. <1%	—	IFR 4% IFB <1% F.O. 2%	Réseau de larges fissures s'ouvrant en cavités 20%	Agrégats polygonaux moyens
C	70	10	<u>Sg</u> et <u>ε</u> Sm	5	1	[PJ 60% [PBJP ⁺⁺ 1% [PBJP ⁺⁺ 1%	"	A.A. qq%	—	IFB 2%	Réseau de larges fissures avec des réseaux secondaires dans les agrégats polygonaux 20%	Agrégats polygonaux grossiers

PALMA IV.- Ap	0- 20	10	Sf	0	3	[PBP+++ 30% PBJP++ 20% PRP++ 5%]	Porphyrique	A.A.m. 5%	—	FR 7% FO 2%	Réseau de fissures 15%	Agrégats polygonaux assez fins
(B)1	20- 62	7	Sf	0	N.O.	[PBJP++ 40% PBP+++ 20%]	"	n.o.	—	FR FO 20%	Réseau de larges fissures désordonnées, avec qq cavités 15%	Agrégats polygonaux moyens
(B)2	62-150	10	Sf	0	3	[PBJP++ 30% PBP+++ 20%]	"	n.o.	—	-idem(B)1-	-idem-mais caractère désordonné plus marqué	Agrégats polygonaux grossiers
C	150	basalte moyennement altéré au contact du matériau vertique						A.A.	—	—	—	Apparition de vésicules dans la zone d'altération

Légende du tableau 3

Granulométrie de la fraction grossière

l : limon
sf : sable fin
sg : sable grossier
la fraction soulignée est la fraction dominante

Degré de triage du squelette

0 absence
1 léger
2 moyen
3 assez élevé
4 élevé
5 assez élevé

Degré de fragmentation de la sanidine

0 non fragmentée
1 fragmentation faible
2 fragmentation moyenne
3 fragmentation élevée à très élevée
n.o. fragmentation non observée

Types de plasma

PBP+++ Plasma brun très poussiéreux
PBJP++ Plasma brun jaune poussiéreux
PJ Plasma jaune très faiblement poussiéreux ou hyalin
PRP++ Plasma rouge poussiéreux

Accumulations texturales

A.A.m. Accumulation argileuse à microlits limoneux
A.A. Accumulation argileuse homogène ou à microlits fins très peu développés
A.T. nt accumulation texturale non triée

Cristallisations carbonatées

R.R. Réseau réticulé carbonaté juxtaposé à un fond matériel vertique
N. Nodule calcaire : cristallisation carbonatée paraissant pure au microscope polarisant
d.N. débris de nodule calcaire

Ferruginisations

IFB Imprégnation ferrugineuse brune
IFR Imprégnation ferrugineuse rouge
F.O. Ferruginisation opaque
F.R. Ferruginisation rouge.

surtout sables grossiers et graviers. Dans l'ensemble, ils sont non ou peu altérés; mais des fragments moyennements à très altérés peuvent être présents. La pâte microcristalline, quand elle est altérée, présente des formes d'altération comparables à celles décrites par Fedoroff & Rodriguez, 1977, dans les sols fersiallitiques canariens, mais avec une tendance à l'apparition d'une matrice ferrugineuse brun jaune. Les profils qui paraissent avoir subi le colluvionnement le plus faible, contiennent toujours une proportion notable de fragments basaltiques altérés.

La sanidine est commune dans ces vertisols. Son altération ne dépasse jamais le stade d'une légère carie, mais on constate qu'elle y est soumise à une fragmentation intense. Dans le matériau originel, les cristaux de sanidine présentent une forme cristalline originelle (Bar-ranco Hondo); progressivement en montant vers la surface du sol, on constate leur fragmentation. Dans les horizons superficiels, la sanidine est à l'état de sables fins et de limons.

Les autres phénocristaux : pyroxène, amphibole et olivine sont également soumis à une fragmentation intense. Leur altération quelque soit l'horizon est toujours très faible à faible.

Le quartz est présent dans la fraction sables fins et limons; les analyses minéralogiques indiquent aussi sa présence dans la fraction argile. Mais il est absent des matériaux originels n'ayant subi ni remaniement, ni apports. Son abondance tend à augmenter vers la surface du sol.

2.4.3. Le plasma

Le plasma des vertisols canariens est jaune à brun foncé, souvent très poussiéreux, à assemblage plasmique ma, vo, squelsépique. On distingue plusieurs sous-types :

- Le plasma brun foncé, très poussiéreux : les poussières, non triées sont constituées de débris charbonneux, de ferruginisations rouges à noires et de fragments de minéraux opaques. La biréfringence est en partie masquée par les poussières. Ce plasma est surtout présent dans les horizons A, où il peut atteindre 60 % de la surface (Bajamar); il existe aussi dans les horizons (B), mais en proportion beaucoup plus faible.
- Le plasma brun jaune, moyennement poussiéreux (les débris charbonneux sont quasi-absents, les poussières ne sont pas triées). La biréfringence et les assemblages plasmiques sont bien exprimées. Ce plasma caractérise surtout les horizons (B).
- Le plasma brun jaune, faiblement poussiéreux. Les assemblages plas-

miques sont très bien exprimés. Ce plasma caractérise soit les horizons vertiques en voie de différenciation à partir du matériau originel, soit des horizons vertiques profonds, fossilisés par des carbonates.

2.4.4. Les traits pédologiques

2.4.4.1. *Les accumulations texturales* (*)

Des accumulations argileuses (argilanes) ont été observées dans la plupart des profils (elles sont absentes dans celui de Bajamar). Elles sont surtout présentes dans les horizons A et les horizons d'altération, mais elles sont très rares dans les horizons B.

Dans les horizons A, les accumulations texturales sont de deux types, on observe :

- des accumulations argileuses brun-jaune à brun-rouge, hyalines, à microlitage irrégulier et souvent peu développé, à extinction ondulante, et à biréfringence moyenne; elles peuvent, soit revêtir des agrégats et tapisser des vides interagrégats (Barranco Hondo), soit être intégrées au fond matriciel (Palma IV, Photo 2).
- des accumulations argilo-limoneuse, brunes, poussiéreuses, non liées, à extinction ondulante et à biréfringence très faible. Elles ont toujours été observées intégrées au fond matriciel.

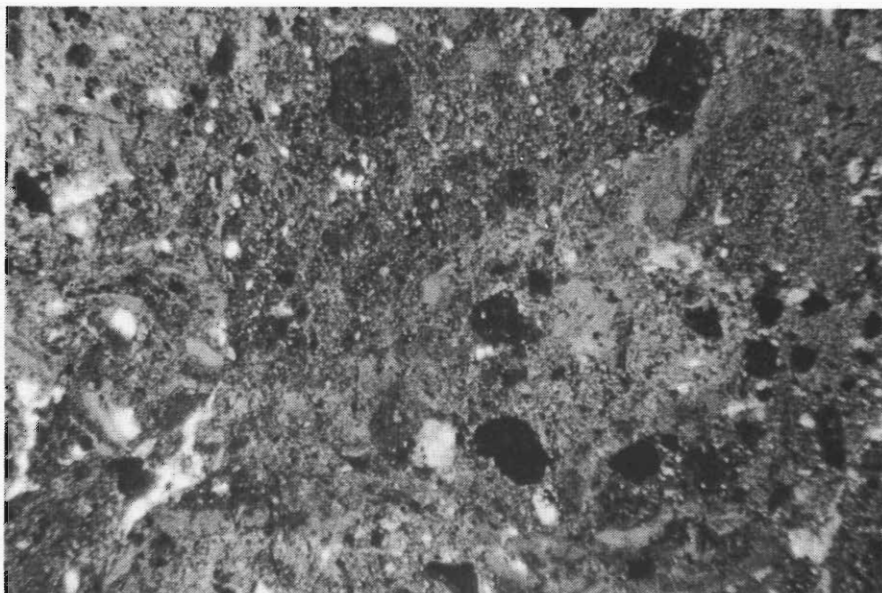
Dans les horizons (B), seules des accumulations brun-jaune, hyalines, à micro-litage très peu développé ont été observées. Elles tapissent, soit des vides d'entassement d'agrégats circulaires comblant des cavités, soit des vides de fragments de basalte quand ceux-ci sont poreux; mais on ne les observe jamais dans les fissures. De petites papules, de même nature, sont quelquefois observables au sein du fond matriciel (Palma IV).

Dans les horizons d'altération, des accumulations jaune-brun à jaune clair, à microlitage très peu développé, à extinction nette et à biréfringence moyenne tapissent, et exceptionnellement colmatent, des vides d'entassement des verres volcaniques (Barranco Hondo), la surface du basalte ainsi que les micro-vides d'altération de celui-ci.

Dans les vertisols canariens, les accumulations texturales sont toujours peu abondantes : elles ne dépassent pas 5 %; le maximum a été observé dans l'horizon A du profil Palma IV (Photo 2). En moyenne, elles couvrent 1 %. Leur proportion augmente rapidement quand on

(*) Le terme "*accumulation texturale*" désigne l'ensemble des traits pédologiques résultant de transferts sous forme figurée dans les sols et les formations superficielles.

2



3

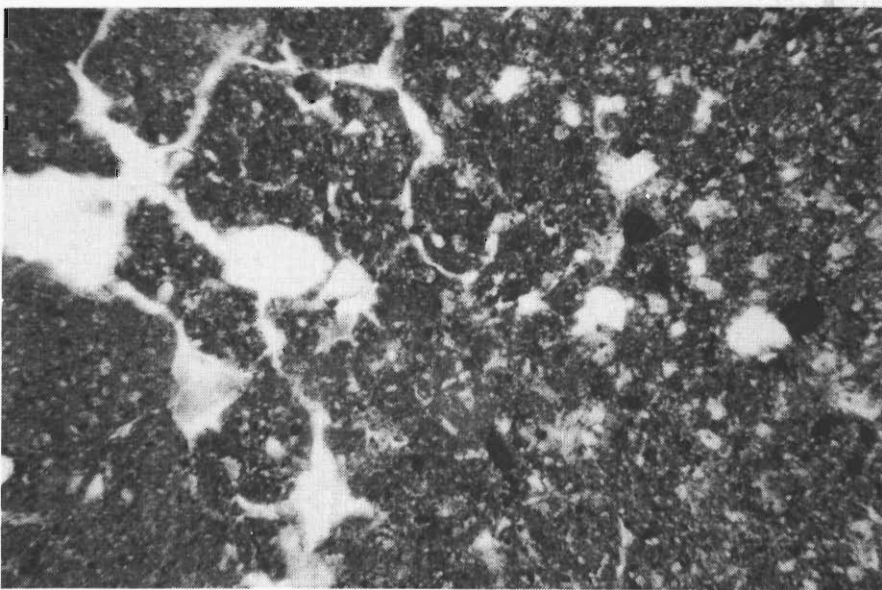


Photo 2

Accumulations texturales intégrées au fond matriciel.

Horizon A du profil de Palma IV, lumière naturelle (X 55).

Accumulations argileuses brun rouge (gris clair homogène sur photo), microlitées et accumulations argilo-limoneuses poussiéreuses. Noter la juxtaposition d'un plasma brun foncé (zones gris foncé sur photo) très poussiéreux et d'un plasma brun jaune, moyennement poussiéreux. Nombreux fragments d'imprégnations ferrugineuses rouges (gris très foncé à noir sur photo).

Photo 3

Accumulation texturale non triée (matrane). Horizon (B) du profil de Bajamar, Lumière naturelle (X14).

L'accumulation texturale non triée remplit une fissure. Elle se différencie du fond matriciel adjacent par un empoussièrément plus important; elle résulte d'un entassement d'agrégats circulaires.

passer aux sols fersiallitiques (Fedoroff & Rodriguez, 1977).

Des accumulations texturales non triées (matranes) existent dans tous les horizons (B) de tous les profils. Elles sont constituées d'un plasma brun foncé, très poussiéreux (caractérisant les horizons A), difficile à distinguer du fond matriciel adjacent, organisé en agrégats circulaires plus ou moins tassés (Photo 4). Elles colmatent des fissures et des cavités de grande dimension.

2.4.4.2. Les imprégnations ferrugineuses

Des imprégnations ferrugineuses du fond matriciel vertique sont visibles dans les horizons A et (B) de tous les profils. Leur couleur varie du brun au rouge foncé. L'intensité de l'imprégnation est variable. Dans certains vertisols, elle est diffuse (Barranco Hondo); dans d'autres, elle est impossible à distinguer de ferruginisations (Palma IV). La surface couverte par ces imprégnations est variable; elle peut atteindre 20 % (Palma IV), mais en général, elle est comprise entre 5 et 10 %, quelque fois inférieure à 5 %; elle est plus réduite dans les horizons A.

Ces imprégnations sont presque toujours sous forme de fragments (ne dépassant pas la taille des sables moyens). Les plus diffuses possèdent une forme propre. Leur distribution dans le fond matriciel est toujours au hasard.

Des ferranes ont été observées dans les horizons d'altération.

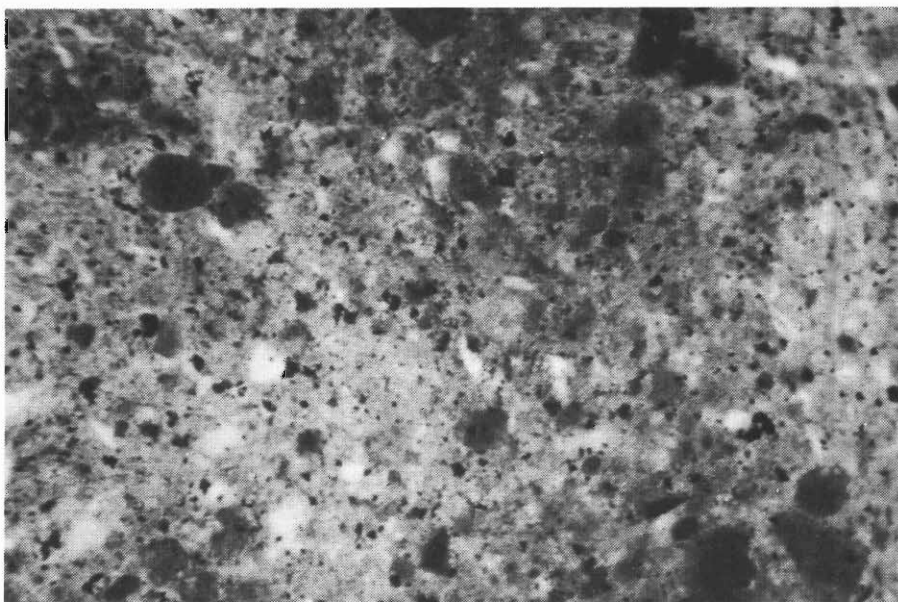
2.4.4.3. Les cristallisations carbonatées

Les carbonates sont presque absents des profils de Barranco Hondo et de Palma IV, mais sont présents dans tous les autres profils dont ils envahissent la base des horizons (B). Ils sont toujours, soit superposés, soit juxtaposés, à un fond matriciel vertique; *nous ne les avons jamais observés imprégnant le matériau originel.*

Les carbonates sont presque toujours microcristallins (micrite). Des macrocristaux, tapissant des vésicules (géodes carbonatées), n'ont été observées qu'à la base totalement carbonatée d'un seul profil.

- En superposition, les carbonates apparaissent, soit sous forme :
- de cristaux isolés qui tendent à former un voile continu superposé au fond matriciel vertique,
 - d'amas cristallins en imprégnation du fond matriciel vertique. Leur développement ultérieur peut se faire, soit par formation de :
 - une matrice carbonatée relativement continue, le nombre des cristaux isolés augmentant;
 - un entassement de nodules calcaires provenant du développement des amas cristallins.

4



5

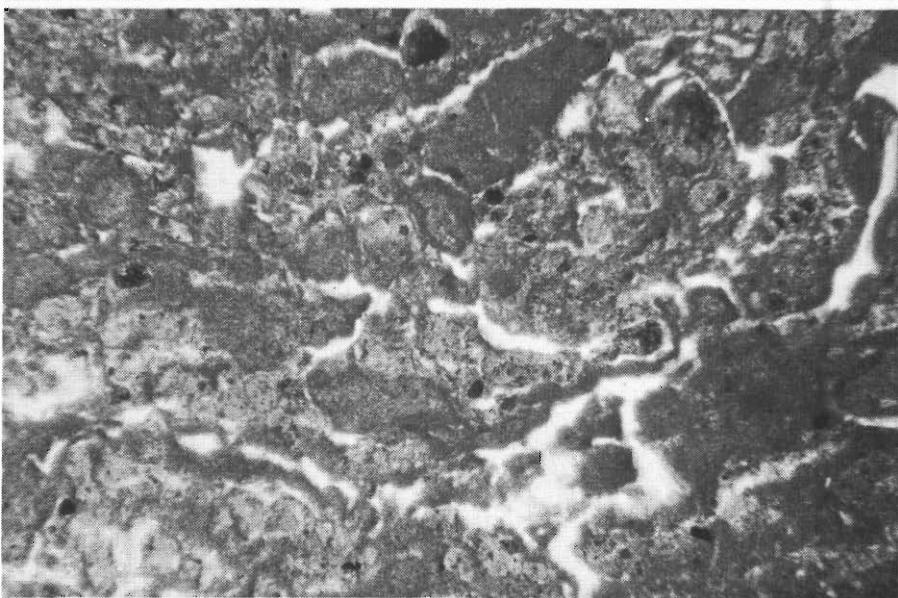


Photo 4

Imprégnations ferrugineuses et microinclusions. Horizon (B) du profil de Palma IV (X 158).

Imprégnations ferrugineuses rouges diffuses (gris très foncé sur photo), en voie de fragmentation. Poussières (microinclusions) très nombreuses, non triées passant à des fragments opaques.

Photo 5

Carbonatation de la base de l'horizon (B). Profil de Bajamar (X 55) Réseau de fissures remplies par un calcaire micritique (gris foncé homogène sur photo) isolant îlots de fond matriciel vertique (pointillé gris clair sur photo).

Aux stades de la carbonation même la plus intense, il reste toujours quelques îlots de fond matriciel vertique non carbonaté.

En juxtaposition, les cristallisations carbonatées se développent par :

- l'apparition d'un réseau réticulé à petites mailles carbonatées (de quelques centaines de microns à un millimètre) (photo 5); la forme des mailles est variable.
- puis l'envahissement de l'intérieur des mailles par des cristaux de calcite isolés, en même temps qu'apparaissent de gros nodules constitués apparemment de calcite pure (ce stade est atteint à la base du profil de Bajamar).

Les formes carbonatées en superposition se développent au sein de fonds matriciels vertiques peu denses, présentant une porosité d'entassement résiduelle et un assemblage plasmique peu marqué. Au contraire, les formes carbonatées en juxtaposition apparaissent dans des fonds matriciels vertiques denses à réseau de fissures désordonnées et à assemblage plasmique marqué.

Soulignons dans ces sols l'absence de figures de dissolution et de recristallisation.

Dans les horizons sus-jacents aux horizons carbonatés on observe fréquemment des fragments de nodules.

2.4.5. L'altération du matériau originel

L'altération du matériau originel est très rarement observable à cause de l'importance du colluvionnement. Nous n'avons pu étudier que :

- l'altération des lapillis (Barranco Hondo),
- l'altération très partielle du basalte (Palma IV).

2.4.5.1. *L'altération des lapillis en milieu vertique*

L'altération débute par l'apparition de lamelles flexueuses (*) en bordure des grains de verre, mais aussi des vésicules; progressivement, ces lamelles envahissent l'ensemble du grain. Parallèlement, du cortex vers le centre, les grains de verre jaunissent, tandis que les vésicules se déforment, puis se ferment.

A la base de l'horizon BC, les grains de verre perdent leur forme; il y a tassement. Il apparaît des agrégats arrondis à plasma jaune clair sans poussières, à assemblage plasmique insépique; cet assemblage plasmique résulte du tassement des lamelles flexueuses. Puis à la base du

(*) La nature minéralogique des lamelles flexueuses n'a pas pu être déterminée; on peut supposer que ce sont des montmorillonites.

(B), les agrégats arrondis se fondent dans le fond matriciel vertique.

2.4.5.2. *L'altération du basalte*

Nous n'avons observé que des altérations pelliculaires du basalte; leur épaisseur ne dépasse pas quelques millimètres.

Cette altération débute par une fragmentation et une iddingsitisation corticale des olivines (Stade I). Puis il apparaît dans ces olivines iddingsitisées un plasma brun jaune, faiblement biréfringent, organisé en arêtes de poisson. En même temps, les microfeldpaths se fissurent et se carient, les vides ainsi formés se colmatent, soit avec un plasma ferrugineux, soit avec un voile microcristallin, tandis que les micro-augites commencent à se ferruginiser (stade II). Au stade suivant (Stade III), les olivines disparaissent totalement, remplacées par un plasma brun jaune qui se généralise. La corrosion des micro-feldpaths s'accroît en même temps que leur envahissement par un voile microcristallin. L'altération des micro-augites reste faible. Des néo-vésicules apparaissent dans la pâte microcristalline. Au stade ultime d'altération (Stade IV), observé dans ces sols, les micro-feldpaths disparaissent, mais des fragments d'augite sont encore reconnaissables.

Le contact entre le basalte d'altération et le fond matriciel vertique est toujours brutal.

2.5. LES CARACTERES MINERALOGIQUES (tableau 4)

Nous avons étudié la minéralogie, d'une part de la fraction sableuse (0,5 - 0,2 mm) (Perez Mateos & Fernandez Caldas, 1972) et d'autre part de la fraction argiles aux Rx, aux infrarouges et au microscope électronique à transmission. Au RX, nous avons fait des traitements de poudre, et d'argiles orientées en saturation au magnésium (brut, éthylène glycol et à 500°C) et en saturation au potassium (brut, 300°C et 500°C) (fig. 3).

La minéralogie des sables révèle le plus souvent une altération faible, quelquefois moyenne des phénocristaux. Les amphiboles paraissent être le moins sensibles à l'altération, de même que la titanite. Les pyroxènes s'altèrent plus facilement mais même dans les profils les plus évoluées (Palma IV) leur altération reste faible. L'olivine est le minéral le plus sensible à l'altération.

La montmirollonite est présente en abondance dans tous les profils. Elle tend à augmenter avec la profondeur. En suspension, vue au microscope électronique à transmission, elle se présente sous deux aspects, soit en amas à bords mal définis, soit en feuillets flexueux transparents.

L'hailloysite et la métahailloysite sont assez abondantes et présentes

Tableau 4
Minéralogie

Horizon	Profondeur	Caractérisation des matériaux primaires										Nature et estimation de l'abondance des minéraux secondaires		
		Présence de quartz	Pyroxènes	Amphiboles	Titanite	Olivine	Mica	Opaques	Feld-paths potassiques	Feld-paths calcosodique	Verre volcanique	Montmorillonite	Illite	Minéraux kaoliniques
<i>BAJAMAR</i>														
A	0- 8	P	1, +++ α	1, ++++ α	0, + α	< 1, + γ	0,0	8, ++++	++ α	5 ++++ α	—	+++	+++	+
(B)	8- 50	P	1, +++ α	1, +++ α	0, + α	< 1, + γ	0,0	6, ++++	+++ α	3 ++ α	—	+++	+++	+
II(B)Ca	80- 90	0	1, ++++ β	0, + β	0, ϵ α	0, ϵ γ	0,0	6, +++	θ	θ	—	++++	ϵ	+
<i>BARRANCO HONDO</i>														
Ap	0- 10	P	< 1, ++++ α	< 1, ++++ α	0, + α	< 1, + ϵ γ	0, ϵ γ	9, ++++	++++ α	8 + α	ϵ	++++	ϵ	++
(B)	10- 50	P	< 1, ++++ α	< 1, ++ α	0, ++ α	< 1, + γ	0,0	10, ++++	++++ α	5 ++ α	ϵ	++++		++
(B)/C	50- 70	P	0, +++ α	0, +++ α	0, +++ α	< 1, ϵ γ	< 1,0	60, +++	+++ α	10 +++ α	ϵ	++++	ϵ	++
C	70-	0	α	α	α	γ	δ		+++ α	+++ α				
<i>LA PALMA IV</i>														
Ap	0- 20	P	< 1, +++ α	0, +++ α	0, + α	2, ϵ δ	0,0	19, +++	θ	5 θ		++++	+	+++
(B)1	20- 62	P	< 1, +++ β	0, +++ α	0, + α	2, ϵ δ	0,0	20, +++	θ	0 θ		++++	+	+++
(B)2	62-150	P	1, ++ β	0, +++ α	0, ++ α	2, ϵ δ	0,0	20, ++++	θ	4 θ		++++	+	+++

Légende du tableau 4

MINÉRAUX PRIMAIRES

- le chiffre donne le % de la surface totale de la lame mince.

- la croix donne l'abondance dans la fraction sableuse.

ε traces

+ peu abondant

++ assez abondant

+++ abondant

++++ très abondant.

α : non altéré

β : faiblement altéré

γ : moyennement altéré

δ : fortement altéré

θ : totalement altéré.

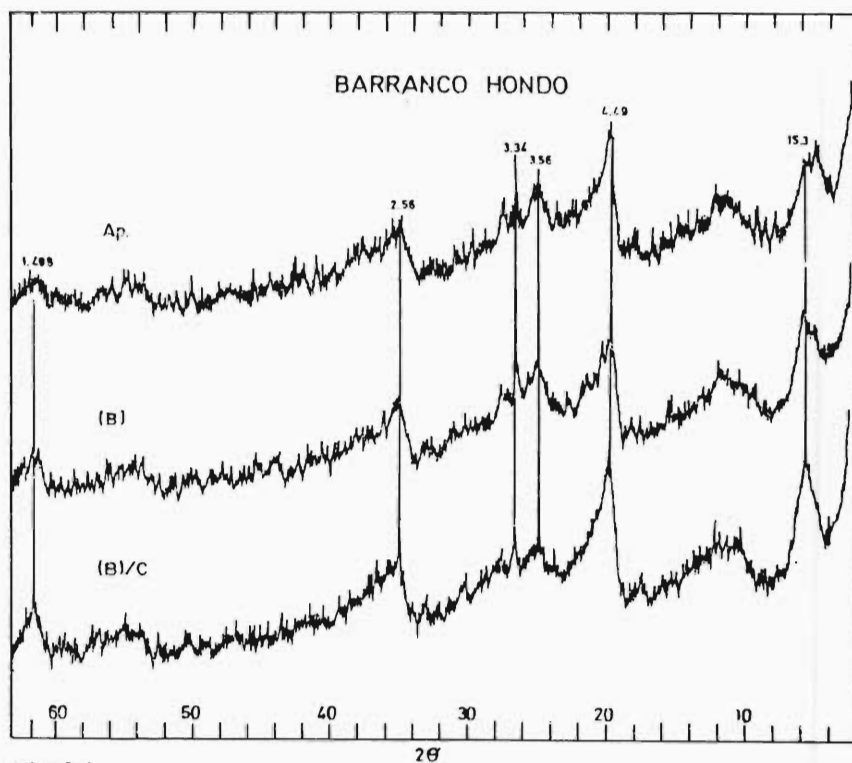


Fig. 3.1.

Diagramme de Rx : profil de Barranco Hondo

Diagramme de poudre de la fraction argile

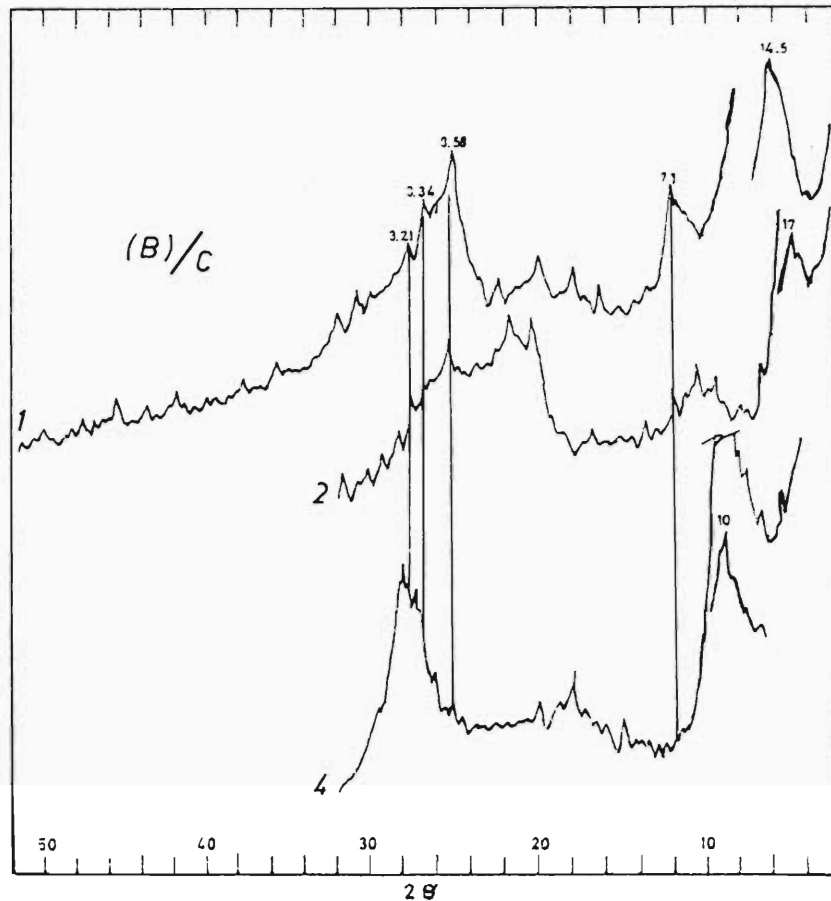
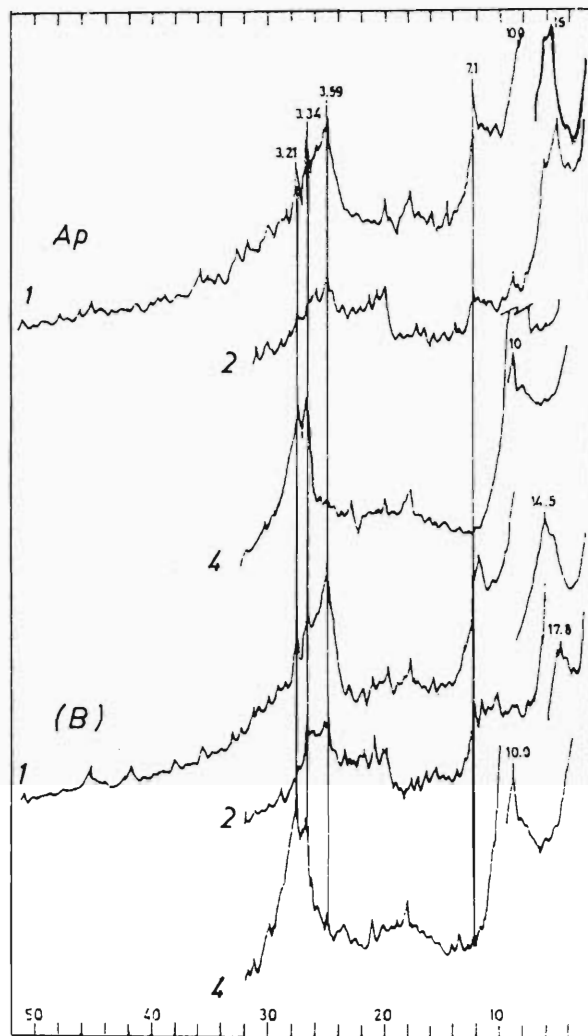


Fig. 3.2.

Diagramme de Rx: profil de Barranco Hondo
Diagramme des argiles orientées saturées au magnésium

Légende : (1) Agrégats orientés
(2) Traitement à l'éthylène-glycol
(3) Chauffage à 300°C
(4) Chauffage à 500°C.

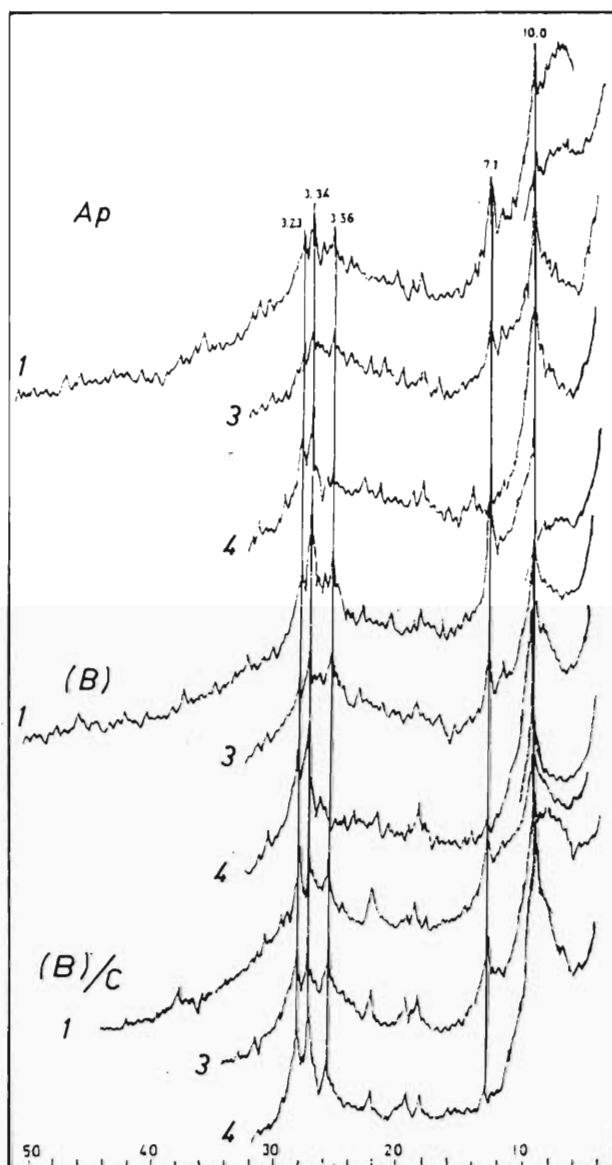


Fig. 3.3

Diagramme de Rx profil de Barranco Hondo

Diagramme des argiles orientées saturées au potassium

Légende : (1) Agrégats orientés

(2) Traitement à l'éthylène-glycol

(3) Chauffage à 300°C

(4) Chauffage à 500°C.

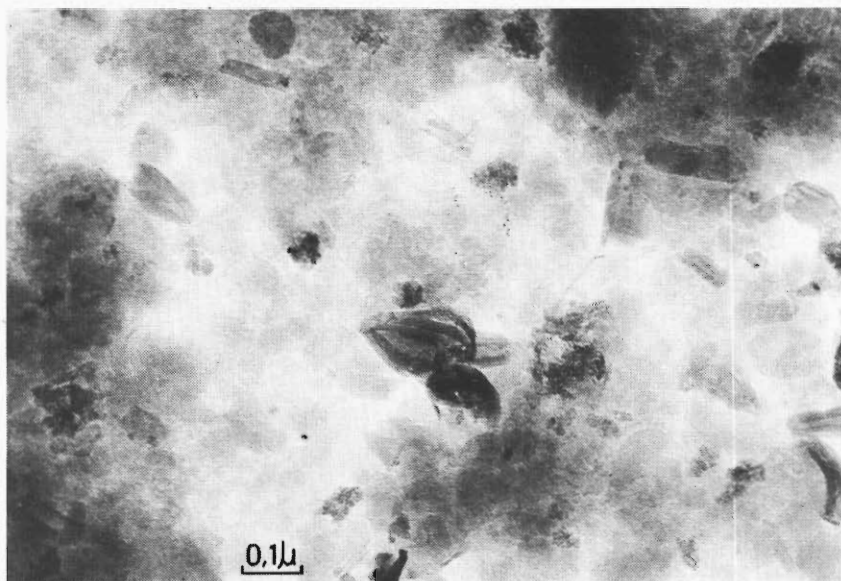


Photo 6

Microscopie électronique.

Fraction argileuse de l'horizon Ap du profil de Barranco (X 90 600). Montmorillonite, halloysite et gel.

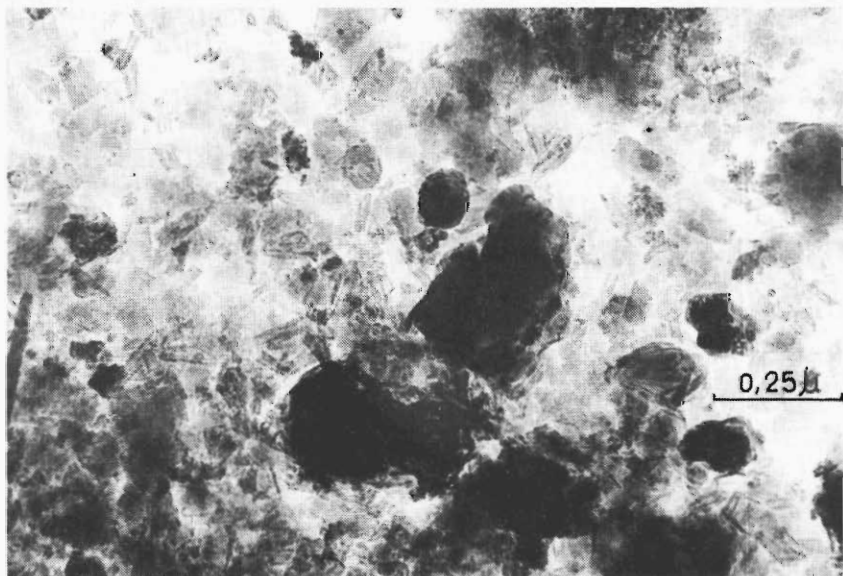


Photo 7

Microscopie électronique.

Fraction argileuse de l'horizon (B)₁ du profil de la Palma IV (X 76 000). Montmorillonite, halloysite et kaolinite.

dans tous les profils. Elle sont sous formes glomérulaires et tubulaires. La kaolinite a été observée en faible proportion.

L'illite est le plus souvent à l'état de traces, ou en faible abondance. Elle n'a été observée en relative abondance que dans les horizons A et (B) d'un seul profil (Bajamar).

3. LA GENESE DES VERTISOLS CANARIENS

3.1. L'ORIGINE DU FOND MATRICIEL VERTIQUE

Dans un seul profil (Barranco Hondo), nous avons pu suivre la transformation du matériau originel (un lapilli) en une matrice verticale (cf. paragraphe 2.4.5.1.). Partout ailleurs, on observe un contact brutal entre le substratum (en général, une coulée de basalte) et la matrice verticale. Ce contact brutal résulte soit de colluvionnements, soit des processus vertiques.

Le colluvionnement est visible sur le terrain : superposition d'horizons vertiques et d'encroûtements calcaires, présence de fragments de roche non altérée dans la masse verticale. La micromorphologie en permet une approche plus précise; comme indices micromorphologiques du colluvionnement, nous avons retenu la présence et le nombre dans le fond matriciel vertical de :

- fragments de roches et de phénocristaux différents de ceux constituant le substratum immédiat du profil;
- fragment de roches et de phénocristaux ayant subi une altération de type non vertical;

En utilisant ces indices, nous avons pu constater que les horizons profonds de profils bien développés, même si le contact avec le basalte est brutal, (Palma IV) résultent d'une transformation quasiment sur place du substratum. Nous pensons que les processus vertiques peuvent être aussi responsables de la brutalité du contact.

Mais le plus fréquemment, même les horizons les plus profonds présentent des indices de colluvionnement, tandis que les horizons A et le sommet des horizons sont toujours colluvionnés.

Comment le fond matriciel vertical peut-il être alimenté par un basalte relativement frais ou même frais ?

Cette alimentation se fait en trois temps :

Il apparaît d'abord dans le basalte des fissures et des vésicules d'altération; ces vides peuvent se former au cours des premiers stades d'altération (cf. paragraphe 2.4.5.2.).

Puis ces vides sont colmatés par des accumulations argileuses (cf. paragraphes 3.5.), qui par gonflement agissent comme des "leviers" qui

désagrègent la roche. Des fragments de roches se trouvent dispersés dans la matrice vertique.

Enfin, ces fragments de roches (tout en s'altérant) sont progressivement réduits en poussières à l'intérieur de la masse vertique (cf. paragraphe 3.3.3).

3.2. L'ALTERATION DES MATERIAUX VOLCANIQUES EN MILIEU VERTIQUE

Au microscope polarisant, nous n'avons pu suivre l'altération des matériaux volcaniques que d'une façon très imparfaite en raison du contact brutal existant entre la matrice vertique et les roches dures.

Néanmoins, on a pu constater que l'altération en milieu vertique donne :

- des couleurs jaunes, dans les verres, brun jaune dans les pyroxènes et les olivines; ces couleurs traduisent un milieu confiné.
- des lames flexueuses à l'intérieur des verres;
- des voiles cristallins (non caractéristiques) dans les microfeldpaths.

Les analyses minéralogiques révèlent une dominante de montmorillonite. Ce minéral peut se former lors de l'altération des verres (lames flexueuses); il constitue le minéral des voiles microcristallins, etc...; mais nous pensons qu'il se forme aussi dans le fond matriciel vertique, à partir des débris de roches et de minéraux en voie de fragmentation.

L'halloysite et la métahalloysite n'ont été observées qu'aux RX, aux IR et au microscope électronique; nous ne pouvons donc pas localiser le lieu de leur genèse dans le sol de façon précise. Sachant que ces minéraux caractérisent les sols fersiallitiques (Fedoroff & Rodriguez, 1977) dominant les vertisols dans la climatoséquence des Iles Canaries (Quantin & Tejedor, 1976), ces minéraux peuvent donc :

- provenir par colluvionnement des sols fersiallitiques,
ou
- s'être formés sur place au cours de périodes climatiques plus humides.

L'origine de la kaolinite (peu abondante) n'est pas connue.

Le quartz et une partie, sinon la totalité de l'illite ont probablement une origine éolienne (hypothèse formulée par Tejedor - Salguero, 1974). Ils auraient été apportés par des vents du Sahara; mais l'illite peut aussi provenir de l'altération de micas, fréquents dans les roches volcaniques acides.

3.3. LES PROCESSUS VERTIQUES

Les processus vertiques résultent du retrait et du gonflement des

montmorillonites; ils consistent en :

- des transferts de matrice verticale à l'intérieur du sol et une homogénéisation de la masse du vertisol;
- un tassement des matériaux originels altérés et une orientation des minéraux argileux;
- une fragmentation des grains durs.

3.3.1. Transferts en masse de la matrice verticale

L'examen des lames minces confirme l'hypothèse maintenant classique sur la chute de la matrice verticale des horizons A dans les fentes de dessiccation et son incorporation aux horizons inférieurs (cf. paragraphes 2.4.1. et 2.4.4.1.).

3.3.2. Tassement des matériaux originels, et orientation des minéraux argileux

L'effet de tassement n'a pu être observé que dans des vertisols développés sur lapillis (Baranco Hondo).

Dans ces vertisols, les grains de verre sont d'abord comprimés : on voit les vésicules originelles se fermer et les lamelles flexueuses se rapprocher les unes des autres; un assemblage plasmique insépique apparaît. Il se forme des agrégats arrondis, puis dans un second temps les agrégats arrondis se tassent à leur tour et les lamelles flexueuses subissent une deuxième compression et une orientation se traduisant par l'apparition d'un assemblage masépique. La majeure partie du plasma est alors biréfringent, ce qui signifie que les argiles dans leur presque totalité sont orientées.

Enfin, dans un troisième temps, les agrégats arrondis disparaissent pour se fondre en une masse continue, parcourue par un réseau de fentes désordonnées : le fond matriciel vertical. La totalité du plasma est biréfringent, ce qui signifie que toutes les lamelles flexueuses ont été tassées et orientées.

Les pressions qui s'exercent dans les horizons vertiques transforment donc les arrangements originels des minéraux argileux en des arrangements beaucoup plus denses. Mais ces arrangements denses ne sont pas définitifs, ils se modifient constamment sous l'effet des retraits et gonflements successifs : il en résulte un assemblage plasmique complexe caractérisé par de multiples directions d'orientation des domaines biréfringents.

3.3.3. Fragmentation des individus durs

On constate dans ces vertisols une fragmentation progressive de la

base vers le sommet du profil de tous les grains : phénocristaux, fragments de basalte (dans une moindre mesure), mais aussi des imprégnations ferrugineuses. Nous avons estimé l'intensité de cette fragmentation, en comptant les fragments de sanidine présents dans le profil de Barranco Hondo.

Dans l'horizon C de ce profil, toutes les sanidines possèdent leur forme cristalline originelle; dans le B/C, quelques cristaux ont déjà été fragmentés. A la base du (B), il ne reste plus de cristaux originels; seuls, quelques gros fragments conservent une partie de la forme originelle. Dans la masse du (B), la sanidine est sous forme de sables moyens à grossiers 3 % et de sables fins et de limons 2 %, tandis que dans le Ap, elle est pour 5 % sous forme de limons et seulement pour 3 % de sables fins et moyens.

Dans les profils à contact brutal entre la matrice vertique et la basalte, les comptages de grains sont moins significatifs, néanmoins ils indiquent une fragmentation importante.

Les imprégnations ferrugineuses sont également sujettes à la fragmentation et à la dispersion (photo 4). En effet, elles sont, dans leur quasi-totalité, anguleuses à subanguleuses, à limite brutale, de toutes tailles (depuis quelques centaines de microns jusqu'à quelques microns) et distribuées au hasard au sein du fond matriciel vertique : ensemble de caractères indiquant une fragmentation intense et une dispersion importante. Des imprégnations ferrugineuses non fragmentées n'existent que dans des horizons à caractère vertique peu marqué, par exemple l'horizon BC du profil de Barranco Hondo.

Ces observations conduisent à l'hypothèse que dans des horizons vertiques tous les grains sont soumis à une fragmentation et une dispersion très supérieures à celles qui peuvent résulter d'une simple bioturbation; cette fragmentation et cette dispersion étant la conséquence des pressions dues au gonflement des smectites.

3.4. L'AGREGATION

Les agrégats polygonaux des horizons (B) résultent directement du retrait des argiles; mais l'origine des agrégats circulaires des horizons A est plus difficile à saisir. Rappelons que ces derniers sont toujours constitués d'un plasma très foncé, très poussiéreux (à nombreuses microinclusions organiques) : ils ne proviennent donc pas directement d'une fragmentation du fond matriciel vertique profond. Nous pensons qu'ils résultent de l'activité de la faune du sol, la matière organique jouant un rôle de liant.

3.5. L'ILLUVIATION

Des témoins de l'illuviation ont été observés dans presque tous les profils; celui de Bajamar est une des rares exceptions (cf. paragraphe 2.4.4.1.); mais il n'existe pas dans ces sols de profil éluvial-illuvial : les accumulations texturales sont présentes dans tous les horizons; avec la profondeur on constate uniquement un triage plus grand des particules.

La mise en suspension affecte non pas seulement les argiles mais aussi le fraction limoneuse. Ceci peut s'expliquer par l'attaque de sols nus ou en grande partie dénudés par la pluie.

La pédosédimentation débute dès le sommet des horizons A. Dans ces horizons, elle est irrégulière (alternance désordonnée de lits limoneux et de lits argileux); les accumulations texturales y sont peu triées et mal orientées. Elles y sont intégrées au fond matriciel, mais avec un faible déformation. On peut interpréter cette intégration comme la conséquence d'une déstabilisation des agrégats circulaires au moment de la saturation en eau des sols.

Dans les horizons B, les accumulations texturales sont beaucoup plus rares qu'en A. Nous pensons que cette diminution résulte des processus de gonflement s'exerçant dans ces horizons, provoquant une intégration rapide des accumulations texturales au fond matriciel. Dans les horizons C, en l'absence de pressions, les accumulations texturales deviennent à nouveau plus abondantes.

L'intensité de l'illuviation est difficile à estimer : les accumulations texturales triées couvrent en moyenne 1 % de la surface de la lame mince, mais ce chiffre sous-estime vraisemblablement la réalité. L'illuviation est un processus secondaire aux processus vertiques; ces derniers empêchent de toute évidence le développement d'un profil éluvial-illuvial.

3.6. LA DYNAMIQUE DU FER

Dans les horizons d'altération, la micromorphologie met en évidence une dynamique du fer (cf. paragraphe 2.4.4.2.) caractéristique des milieux confinés : apparition de couleurs jaunes et brun jaune dans les minéraux et les roches en voie d'altération.

Dans les horizons vertiques, le fer imprègne le fond matriciel avec une densité variable; quelquefois des ferranes sont présents : ceci indique qu'un milieu réducteur règne périodiquement dans ces horizons.

3.7. LA DYNAMIQUE DES CARBONATES

Les carbonates sont toujours, soit juxtaposés, soit superposés à une matrice vertique, ils sont donc toujours postérieurs à la formation de la matrice vertique qu'ils neutralisent en cristallisant.

La carbonation est toujours remontante. Elle débute en général à la base des horizons vertiques pour gagner progressivement des horizons plus élevés.

L'origine des carbonates est difficile à préciser; nous pensons qu'elle est locale. Dans les profils très colluvionnés, des apports latéraux sont évidents.

4. L'HISTOIRE DES VERTISOLS CANARIENS

L'envahissement des vertisols par les carbonates, total dans les zones les plus arides, partiel dans les zones moins arides, indique que les climats actuels y sont trop secs pour que le développement des vertisols puisse se poursuivre. Nous pensons que ces sols ne se développent à l'heure actuelle que dans la frange la plus humide, où les carbonates ne précipitent pas (à proximité de la zone des sols fersiallitiques). Les vertisols canariens sont donc en majeure partie le témoin de climats plus humides, probablement ceux des pluviaux.

L'examen des encroûtements ne met nulle part en évidence plusieurs phases dans leur développement; ils se sont tous développés progressivement. L'histoire de ces vertisols apparaît donc comme monocyclique : ils se seraient développés au cours d'une seule période plus humide, un pluvial, puis ils se sont encroûtés au cours de la période actuelle.

La presque totalité de ces vertisols a été mise en culture; l'homme les a aménagés en terrasses. Cet aménagement suppose des remaniements importants, très fréquemment seule la base des horizons (B) y a échappé. Récemment, la création de bananeraies (localisées dans la zone climatique des vertisols) a nécessité le remplacement des vertisols par des sols plus légers (on a transporté des andosols et des cendres de la montagne). Ainsi sur la façade Nord de Tenerife, où les bananeraies occupent tout l'espace, les vertisols ont pratiquement disparu.

Par ailleurs la mise en culture traditionnelle a provoqué une accentuation de l'érosion et beaucoup de vertisols ont disparu de cette façon.

CONCLUSIONS

Les vertisols des Canaries occidentales présentent des caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques et une macro et micromor-

morphologie typiques de ces sols, à l'exclusion du microrelief gilgai. Actuellement une partie d'entre eux, soumise à un climat subaride, est en voie de fossilisation par un encroûtement calcaire remontant. Tous ont été soumis à une érosion intense, qui s'est accentuée avec la mise en culture. Cette érosion explique la colluvionnement intense que l'on observe dans ces sols.

Nous avons classé ces vertisols soit :

- comme *typic chromustert* (soil taxonomy), vertisol à bon drainage à structure fine en surface (classification C.P.C.S.) (Barranco Hondo et Palma IV);
- comme *typic pellustert*, vertisol à drainage externe faible à structure fine en surface (Bajamar).

La zonation climatique dans chacune des Canaries occidentales est très accentuée; il en résulte une climatoséquence pédologique très nette (Quantin & Tejedor, 1976). Les vertisols se situent entre :

- les sols marrons à encroûtement calcaire, en voie de salinisation, développés dans les zones plus arides de la façade méridionale des îles.
- les sols fersiallitiques (Quantin & Tejedor, 1976; Fedoroff & Rodriguez, 1977) présents à moyenne altitude sur les façades septentrionale et méridionale des îles.

BIBLIOGRAPHIE

Ahmad N. & Jones R. L.

Genesis, chemical properties and mineralogy of Caribbean Grumusols. *Soil Sci.* V. 107, 3. p. 166-174.

Bellinfante N., Paneque G., Olmedo J. & Baños C., (1973).

Micromorphological study of Vertisols in Southern Spain.

Proc. 4th int. working-meeting on soil micromorphology. p. 281-295.

Blokhuis W. A., Ochtman L. H. S. & Peters K. H., (1964).

Vertisol in the Gezira and Khashm El Girba clay plains, Sudan.

Trans. 8th Int. Congr. Soil Sci. V. 5 p. 591-603.

Blokhuis W. A., Pape Th. & Slager S., (1968).

Morphology and distribution of pedogenic carbonate in some vertisols of Sudan.

Geoderma 2 (1968-1969) p. 173-200.

Blokhuis W. A., Slager S. & Van Schagen R. H., (1970).

Plasmic fabrics of two Sudan vertisols.

Geoderma 4. 1970 p. 127-137.

Bocquier G., (1973).

Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique.

Mémoires O.R.S.T.O.M. - 62 - 350 p.

- Bravo Rodriguez J. J., (1974).
Estudios agrobiologicos de la Isla de la Palma. (Islas Canarias).
Tesis doctoral. Universidad de la Laguna-Tenerife.
- Bravo Rodriguez J. J., Fernandez Caldas E. & Monturiol F., (1976).
Distribucion y caracteristicas de los suelos canarios.
Isla de la Palma.
Anal. Edaf. T. XXXV, 5-6, p. 495-513.
- Brewer R., (1964).
Fabric and mineral analysis of soils.
J. Wiley, New-York.
- Buringh P., (1969).
Sodic Vertisols in Central Sudan.
Agrokemia es Talajtan. T. 18, p. 100-102.
- Buringh P., (1970).
Introduction to the study of soils in Tropical and Subtropical regions.
Wageningen, Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
- Ceballos L. & Ortuño F., (1951).
Vegetacion y flora forestal de las Islas Canarias.
Ins. forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid.
- C. P. C. S. (1967).
Classification des sols.
Labo. de Géologie-Pedologie, Grignon - Ronéo, p.87
- Chang S. N., (1963).
Clay minerals of tropical soils of Hainan Island.
Acta Ped. Sin. 11, p. 36-52.
- De Vos J. H. & Virgo K. J., (1969).
Soil Structure in vertisols of the blue Nile clay plains, Sudan.
Soil Sci. 20, 1, p. 189-206.
- Dudal R., (1967).
Suelos arcillosos oscuros de las regiones tropicales y subtropicales.
FAO. Cuadernos de fomento agropecuario nº 83, 172 p.
- Edelman C. H. & Brinkman R., (1962).
Physiography of gilgai soils.
Soils Sci. 94, 6, p. 366-370.
- Eswaran H. & Sys C., (1972).
Clay mineralogy of soils on ultrabasic rocks from Jabah, Borneo.
Int. Clay Conf. Madrid, Spain p. 215-226.
- Fald A. E., (1971).
A mineralogical characterization of some vertisols in the Gezira and the Kenana clay plains of the Sudan.
J. of Soil Sci. V. 22, nº 1 p. 129-135.
- Fedoroff N. & Rodriguez A.,
Micromorphologie des sols de Tenerife et de La Palma (Islas Canarias).
Proc. 5th Int. Working-Meeting on Soil Micromorphology. Sous presse.

- Fernandez Caldas E. & Guerra Delgado A., (1971).
Condiciones de formacion y evolucion de los suelos de Tenerife.
Anal. Edaf. T. XXX, 5-6, p. 555-610.
- Fernandez Caldas E., Monturiol F. & Gutierrez Jerez F., (1974).
Distribucion y caracteristicas de los suelos canarios. II. Isla del Hierro.
Anal. Eda. T. XXXIII 5-6 p. 359-370.
- Fernandez Caldas E., Monturiol F. & Gutierrez Jerez F., (1974).
Distribucion y caracteristicas de los suelos canarios. III. Isla de la Gomera.
Anal. Edaf. T. XXXIII, 7-8, p. 531-543.
- Huetz De Lemps A., (1963).
Le climat des îles Canaries.
Société d'Edition d'enseignement supérieur. Paris.
- Johnson W. M., Cady J. G. & James M. S., (1962).
Characteristics of some brown Grumusols of Arizona.
Soil Sc. Am. Proc. 26, p. 389-393.
- Kaloga B., (1966).
Etude pédologique des bassins versants des Volta blanche et rouge en Haute Volta,
2ème partie : Les Vertisols.
Cah. O. R. S. T. O. M., sér. Ped. IV (3), 29.
- Lopez Taborda O., (1967).
Un vertisol typique de l'Uruguay. La série Tala
Science du sol 2, p. 97-107.
- Maignien R., (1961).
Sur les sols d'argiles noires d'Afrique Occidentale.
Bull. A. F. E. S., p. 131-144.
- Mohr E. C. J., Van Baren F. A. & Van Schuylenborgh (1972).
Vertisols. Tropical soils.
Pub. Mouton-Ichtiar Baru-Van Hoeve, Hague, 481 p.
- Nelson L. A., Kunze G. W. & Godfrey C. L., (1960).
Chemical and mineralogical properties of San Saba clay, a Grumusol.
Soil. Sci. 89 p. 122-131.
- Paquet H., (1969).
Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des
climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées.
Thèse Sci. Strasbourg, ronéo. 348 p.
- Perez Mateos J. & Fernandez Caldas E., (1972).
Estudio de minerales primarios en suelos de Tenerife.
Ana. de Eda. T. XXXI, nº 11-12 p. 851-864.
- Quantin P., (1975).
Sols des Iles Canaries.
Rapport ORSTOM. 56 p. multigr., inédit.
- Quantin P. & Tejedor M., (1976).
Séquence chronologique et climatique de sols sur roches volcaniques aux îles
Canaries.
Com. orale AFES 2/12/1976.

- Rodriguez Hernandez C. M., (1976).
Vertisoles y suelos con caracter vertico de las Islas Canarias Occidentales (Tenerife, Palma y Gomera).
Tesis Doctoral. Universidad de la Laguna. Tenerife.
- Sanches Diaz J., (1975).
Caracteristicas y distribucion de los suelos en la isla de Gran Canaria.
Tesis Doctoral. Universidad de la Laguna. Tenerife.
- Sieffermann G., (1973).
Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun
Mém. O. R. S. T. O. M. 66, 183 p.
- Singer A., (1966).
The mineralogy of the clay fraction from basaltic soils in the Galilee, Israël.
J. of Soil Sc. V. 17, 1, p. 136-147.
- Singh S., (1956).
The formation of dark-coloured clay-organic complexes in black soils.
J. Soil Sci. 7., p. 43-58.
- Soil Taxonomy (1975).
A basic system of soil classification for making and interpreting soil Surveys. Soil conservation service. U. S. Department of Agriculture.
Agriculture Handbook n° 436. 754 p.
- Tejedor Salguero M. L., (1974).
Andosoles de las Islas Canarias Occidentales (Tenerife, Gomera, Hierro).
Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna. Tenerife.
- Trauth N., Paquet H. & Millot G., (1967).
Les montmorillonites des vertisols lithomorphes sont ferrifères : conséquences géochimiques et sédimentologiques.
C. R. Acad. Sci. Paris - 264 D. p. 1577-1579.
- Zein El Abedine A. & Robinson G. H. (1971).
A study on cracking in some vertisols of Sudan.
Geoderma 5 (1971) p. 229-241.
- Zonn S. V., (1967)
Genetic characteristics of cinnamon-brown red, red and hydromorphic compact black soils of India.
Soviet Soil Sci. 9 p. 136-170.

*
* *

Résumé

Les vertisols des Iles Canaries Occidentales sont typiques; seuls les caractères "micro-gilgai" en sont absents. A cause d'une forte érosion, résultant d'un relief tourmenté, leur épaisseur est faible et souvent, ils sont discontinus.

La matrice verteque provient de basaltes et de lapillis. L'illuviation d'argiles gonflantes dans les fissures du basalte en début d'altération, ou entre les grains du lapilli, brise le basalte ou comprime le verre. Puis les fragments de basalte sont dis-

persés dans la matrice verticale où ils sont lentement "broyés", l'altération étant parallèle au broyage; ou les grains de lapillis comprimés sont intégrés à la matrice avec une forte compression. Le colluvionnement est très important dans ces vertisols, et il masque dans plupart des sols l'origine de la matrice.

Le retrait et le gonflement donnent lieu au transfert dans les fissures verticales d'une matrice non triée, à une compaction importante et à un "broyage" des éléments durs.

L'illuviation est relativement importante dans ces sols : des argilanes sont communs dans la partie supérieure du sol et dans les horizons d'altération, mais dans les horizons (B), ils sont quasi-absents, probablement oblitérés par les pressions.

Les vertisols situés dans les zones les plus sèches de ces îles sont envahis par du carbonate de calcium.

De Vertisols van de Westelijke Canarische Eilanden

Samenvatting

De Vertisols van de Westelijke Canarische Eilanden zijn typisch, alleen microgilgai ontbreekt. Ingevolge sterke erosie zijn ze ondiep en lokaal discontinu.

Het bodemmateriaal bestaat uit verweerde basalt en lapilli. Inspoeling van zwelende kleien in de barsten van de verweerde basalt of tussen de glaskorrels breekt basalt en zet het glas onder druk. Vervolgens worden de basaltfragmenten opgemengd in de matrix, waar ze langzaam verbrijzelen, de vertering verloopt parallel met deze verbrijzeling; ook worden vervormde glaskorrels in de matrix gedrukt. Colluviatie is sterk uitgesproken en kan in veel gevallen de oorsprong van de matrix onduidelijk maken.

Zwellen en krimpen veroorzaakt verplaatsing van bodemmateriaal in de scheuren, samendrukking, oriëntatie van nieuwgevormde kleimineralen en verpulveren van de grove korrels.

Kleïlluviatie lijkt een belangrijk verschijnsel; argillans komen voor in de bovenste horizonten en in de verweringszone; in de B horizonten lijken ze vernield door de zwelverschijnselen.

In de drogere zone bevatten de Vertisolen calciumcarbonaat.

The Vertisols of the Western Canary Islands

Summary

The vertisols of Western Canary Islands are typical, only micro-gilgai is lacking. Because of strong erosion, they are shallow and in many places discontinuous.

Vertic matrix seems to originate from basalt or lapillis. Illuviation of swelling clay in cracks of the weakly weathered basalt or between the glass grains breaks the basalt or presses the glass. Next basalt fragments are dispersed in the vertic matrix where they are slowly smashed, weathering being parallel to this smashing, or already deformed glass grains are integrated with pressure into the matrix. Colluviation is very strong, in these vertisols, and masks the origin of the matrix

in most soils.

Swelling and drying leads to translocation of soil material in the cracks from the top soil to the lower (B), to strong compaction and orientation of clay minerals and to "grinding" of coarse grains and fragments.

Clay illuviation is important in all these soils; argillans are common in the top soil and the weathering zone; in the (B) horizons they are probably destroyed by swelling.

In the driest zones the vertisols are invaded by calcium carbonate.

PEDOLOGIE

Edité avec l'aide financière de la Fondation Universitaire
et du Ministère de l'Education nationale et de la Culture française
et du Ministère de l'Education nationale et de la Culture néerlandaise

Uitgegeven met de financiële steun van de Universitaire Stichting
en van het Ministerie van Nationale Opvoeding en Nederlandse Cultuur
en van het Ministerie van Nationale Opvoeding en Franse Cultuur

Bulletin de la
Société Belge de Pédologie

Bulletin van de
Belgische Bodemkundige Vereniging

1979

XXIX, 1

Comité de rédaction

Redactiecomité

A. Cottenie, J. D'Hoore, G. Hanotiaux, A. Herbillon,
T. Jacobs, A. Noirfalise, G. Scheys, L. Sine,
C. Sys, R. Tavernier, M. Van Ruymbeke